数理解析研究所講究録 1451 巻 2005 年 179-186

エタール位相での p 進 Tate 捻りについて

佐藤 周友 (名大 多元数理)

今回の研究集会に於いて発表の場を下さいました森下昌紀氏, 栗原将人氏に心より感謝申し上げます.

序

X を Spec($\mathbb{Z}$) 上固有 (proper) かつ平坦な連結正則スキームとする. 自然数 n に対して, Chow 群 $\mathrm{CH}^n(X)$ を次で定義する:

$$\mathrm{CH}^n(X) := \mathrm{Coker}\left(\bigoplus_{x\in X^{n-1}} \kappa(x)^\times \xrightarrow{\partial} \bigoplus_{x\in X^n} \mathbb{Z}\right).$$

ここで, X^q は X 上余次元 q の点全体のなす集合, 点 x に対し $\kappa(x)$ は局所環 $\mathcal{O}_{X,x}$ の剰余体, ∂ は離散付置による写像である. さて, X の次元を d とすると, 相互写像と呼ばれる次の準同型写像がある:

$$\rho : \mathrm{CH}^d(X) \longrightarrow \pi_1^{\mathrm{ab}}(X)^{\sim}.$$

ここで, 右辺はエタール基本群のアーベル化 $\pi_1^{\mathrm{ab}}(X)$ を実数点の寄与に関して修正したもの, ρ は閉点 $x \in X$ のクラスを x でのフロベニウス置換に移す写像である. この写像は高次元類体論において非常に基本的な写像であり, 実は有限群の同型写像である ([KS], [S]). 本稿では, 右辺をエタール層の複体 $\mathfrak{T}_r(n)_X$ (=p 進 Tate 捻り) を係数とする超コホモロジー群に置き換えることにより, 写像 ρ をサイクル写像として一般の余次元に拡張したい (系 5, 注意 6 参照). そのサイクル写像の $n=2$ の場合の単射性については齋藤秀司氏の報告集原稿を参照して頂きたい.

エタール層の複体 $\mathfrak{T}_r(n)_X$ を構成するアイデアの源流は, Beilinson [Be] と Lichtenbaum [L] が存在を予想したエタール位相でのモチーフ複体「$\Gamma(n)_X^{\text{ét}}$」の公理にまで遡る. 実際 X が整数環上のスムーズであるときには Schneider [Sch] がモチーフ複体の公理の $\mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z}$ 係数版を考察して「$\mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z}(n)_X$」に相当するエタール層の複体を定義している. 我々は Schneider の考察をより一般化, 厳密化して

X が整数環上の半安定な族 (semistable family) の場合に「$\mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z}(n)_X$」に相当するエタール層の複体として $\mathfrak{T}_r(n)_X$ を定義する (より正確にはエタール層の導来圏の対象として定義するのである). 実際にあるモチーフ複体の候補と $\mathfrak{T}_r(n)_X$ の関係については §2 を参照して頂きたい.

記号

- スキーム X と自然数 m に対して, X 上のエタール $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$ 層の導来圏を $D(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/m\mathbb{Z})$ とし, $D(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/m\mathbb{Z})$ の有界な対象からなる充満部分圏を $D^b(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/m\mathbb{Z})$ で表す.
- スキーム X と X 上で可逆な正の整数 m に対して, 1 の m 乗根のなす X 上のエタール層を μ_m で表す. 自然数 n に対して, X 上のエタール層 $\mu_m^{\otimes n}$ は Tate 捻りと呼ばれる基本的なエタール層である.
- k を標数 $p > 0$ の完全体, X を k 上のスムーズな多様体とする. 正の整数 r と整数 n に対して, $W_r\Omega^n_{X,\log}$ を Illusie [Il] が定義した Hodge-Witt 層 $W_r\Omega^n_X$ の対数部分からなるエタール部分層とする.

  【注】ここでは $W_r\Omega^n_{X,\log}$ の定義は説明しないが, 次の 3 つの性質から, それがどのようなものであるかを想像して頂きたい:

  (1) $n < 0$ または $\dim(X) < n$ ならば, $W_r\Omega^n_{X,\log} = 0$.

  (2) $n = 0$ なら $W_0\Omega^n_{X,\log} = \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z}$ であり, $1 \le n \le \dim(X)$ かつ $r = 1$ なら,
  $$W_1\Omega^n_{X,\log} = \Omega^n_{X,\log} := \mathrm{Im}(d\log : (\mathcal{O}_X^\times)^{\otimes n} \longrightarrow \Omega^n_{X/k}).$$

  (3) $W_r\Omega^n_{X,\log}$ は $\mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z}$ 上平坦で, $r \ge 2$ の場合には次の完全列がある:
  $$0 \longrightarrow W_{r-1}\Omega^n_{X,\log} \longrightarrow W_r\Omega^n_{X,\log} \longrightarrow \Omega^n_{X,\log} \longrightarrow 0 \qquad (\text{完全}).$$

1. p 進 Tate 捻りの構成

以下のように記号を定める:

p	:	素数
A	:	代数的整数環または p 進整数環
X	:	$\mathrm{Spec}(A)$ 上有限型かつ平坦な正則スキーム
Σ	:	$\mathrm{Spec}(A)$ の標数 p の閉点全体のなす (有限) 集合

$$Y \quad : \quad X \text{ の } \Sigma \text{ 上のファイバーの非交和} = X \times_{\mathrm{Spec}(A)} \Sigma$$
$$V \quad : \quad Y \subset X \text{ の補集合} = X \times_{\mathrm{Spec}(A)} \mathrm{Spec}(A[1/p]).$$

X について次の条件を仮定する:

(*) Y は被約 (reduced), かつ X 上の正規交叉因子である.

r を自然数, n を非負整数とする. 以上の設定の下で X (のエタール位相) 上の Tate 捻り $\mathfrak{T}_r(n)_X$ を定義する. そのためまず「何を以って Tate 捻りとするか? つまり, 導来圏 $D(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$ の対象 $\mathcal{K}$ がどのような条件達を満たすとき Tate 捻りと呼ぶに相応しいか?」について説明する. (そのような条件達を満たすような対象がどれだけあるのかという問題も当然派生するが, その点についても定理 2 で述べる.) まず最初に欲しいのは次の条件である.

T1. V 上では $t : \mathcal{K}|_V \simeq \mu_{p^r}^{\otimes n}$ なる同型が存在する.

これは「$\mathcal{K}$ を V に制限すると, V 上の Tate 捻りになる」ことを意味する. 次の条件は, Tate 捻りが非自明なコホモロジー層を持ち得る次数の範囲に関するものである:

T2. $\mathcal{K}$ のコホモロジー層は次数 $[0, n]$ 以外では 0 である.

この条件は Beilinson と Lichtenbaum が予想しているモチーフ複体「$\Gamma(n)_X^{\text{ét}}$」の公理「$\Gamma(n)_X^{\text{ét}}$ のコホモロジー層は次数 $[1, n]$ 以外では 0 である」の類似として得られるものである (以下の予想 9 も参照して頂きたい). さて, 次なる条件は, X の標数 p の点, つまり Y 上の点の近傍で $\mathcal{K}$ がどのような条件を満たすべきかに関するものである:

T3. 標数 p の局所閉で連結な正則部分スキーム $i : Z \to X$ に対して,

$$W_r\Omega_{Z,\log}^{n-c}[-n-c] \xrightarrow{\simeq} \tau_{\leq n+c} Ri^! \mathcal{K}$$

なる標準同型が $D^b(Z_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$ において存在する. 但し, c は余次元 $\mathrm{codim}_X(Z)$ を表し, $W_r\Omega_{Z,\log}^{n-c}$ は $n < c$ の場合は零層を表す.

この条件もモチーフ複体「$\Gamma(n)_X^{\text{ét}}$」のある公理 (purity の公理) の類似として得られるものである. 注意して頂きたいのは, $c = n$ の場合, **T3** は「$\mathrm{H}_Z^{2n}(X, \mathcal{K})$ の中に Z のサイクル類が定義できる」ことを主張しているという点である. さて, 最後の条件は次のものである (正確な記述は以下の注意 1 を参照):

T4. ガロアコホモロジーの境界写像 ([KCT]) と局所コホモロジーの境界写像の間の (**T3** の同型を通しての) 可換性.

この条件は技術的なもので, モチーフ複体「$\Gamma(n)_X^{\text{ét}}$」の公理には対応するものはないが, 非常に自然な条件であり, 敢えて宣言するところに意味がある.

注意 1. 条件 **T4** を正確に述べる. X 上の 2 点 y, x で次の状況のものを考える:

$$\mathrm{ch}(x) = p, \quad x \in \overline{\{y\}} \quad \text{かつ} \quad \mathrm{codim}_X(x) = \mathrm{codim}_X(y) + 1.$$

$c := \mathrm{codim}_X(x)$ とおく. y の標数は 0 または p であることに注意. このとき, 条件 **T4** は, 次の図式が 2 数の対 $(\mathrm{ch}(y), c)$ にのみ依存する符号を除いて可換であるというものである:

$$\begin{array}{ccc}
\left\{\begin{array}{ll} \mathrm{H}^0_{\text{ét}}(y, W_r\Omega^{n-c+1}_{y,\log}) & (\mathrm{ch}(y) = p \text{ の場合}) \\ \mathrm{H}^{n-c+1}_{\text{ét}}(y, \mu_{p^r}^{\otimes n-c+1}) & (\mathrm{ch}(y) = 0 \text{ の場合}) \end{array}\right\} & \xrightarrow{\partial^{\mathrm{val}}} & \mathrm{H}^0_{\text{ét}}(x, W_r\Omega^{n-c}_{x,\log}) \\
\Big\downarrow{\scriptstyle \mathrm{Gys}^n_{i_y}} & & \Big\downarrow{\scriptstyle \mathrm{Gys}^n_{i_x}} \\
\mathrm{H}^{n+c-1}_{y,\text{ét}}(\mathrm{Spec}(\mathcal{O}_{X,y}), \mathcal{K}) & \xrightarrow{\delta^{\mathrm{loc}}} & \mathrm{H}^{n+c}_{x,\text{ét}}(\mathrm{Spec}(\mathcal{O}_{X,x}), \mathcal{K}),
\end{array}$$

但し, 次のような記号を用いた:

∂^{val} : ガロアコホモロジーの境界写像 [KCT]

δ^{loc} : 局所コホモロジーの連結準同型写像

i_x : $x \to \mathrm{Spec}(\mathcal{O}_{X,x})$ (閉な埋め込み)

i_y : $y \to \mathrm{Spec}(\mathcal{O}_{X,y})$ (閉な埋め込み)

$\mathrm{Gys}^n_{i_x}$: i_x に対する **T3** の同型

$\mathrm{Gys}^n_{i_y}$: $\begin{cases} \mathrm{ch}(y) = p \text{ なら, } i_y \text{ に対する } \mathbf{T3} \text{ の同型} \\ \mathrm{ch}(y) = 0 \text{ なら, } \mathbf{T1} \text{ の同型 } t \text{ と標数 0 でのサイクル類による写像} \end{cases}$

さて, 以上が我々の欲しい Tate 捻りに関する条件であるが, 果たしてこれらの条件を満たす対象 $\mathcal{K}$ は存在するのか? また, 存在するならば, どれくらいたくさんあるのか? この問いに対する解答が次の定理である:

定理 2 ([SaH]). n, r を固定するとき, 条件 **T2**–**T4** を満たすような $D^b(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$ の対象 $\mathcal{K}$ と同型 $t : \mathcal{K}|_V \simeq \mu_{p^r}^{\otimes n}$ の対 $(\mathcal{K}, t)$ が一意な同型を除いて一意に存在する.

定理 2 の証明の概略. 定理 2 は次のようにして証明される. ι, j を

$$V \xrightarrow{j} X \xleftarrow{\iota} Y$$

として, まず次の補題を証明する:

補題 3. **T2–T4** を満たすような対 $(\mathcal{K}, t)$ が存在するとせよ. このとき,

(1) 次の X 上のエタール層の列は完全ででなければならない:

$$R^n j_* \mu_{p^r}^{\otimes n} \xrightarrow{\partial_1} \bigoplus_{y \in Y^0} i_{y*} W_r \Omega_{y,\log}^{n-1} \xrightarrow{\partial_2} \bigoplus_{x \in Y^1} i_{x*} W_r \Omega_{x,\log}^{n-2} \tag{3.1}$$

但し ∂_1, ∂_2 はガロアコホモロジーの境界写像を層化して得られる写像である.

(2) $\mathcal{K}$ は必然的に, 次の形の $D^b(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$ での distinguished triangle に当て嵌まる:

$$\iota_* \nu_{Y,r}^{n-1}[-n-1] \xrightarrow{g} \mathcal{K} \xrightarrow{t'} \tau_{\leq n} Rj_* \mu_{p^r}^{\otimes n} \xrightarrow{\partial_1'} \iota_* \nu_{Y,r}^{n-1}[-n]. \tag{3.2}$$

ここで, t' は同型 t の随伴射 $\mathcal{K} \to Rj_* \mu_{p^r}^{\otimes n}$ を条件 **T2** で分解して得られる射 ($\tau_{\leq n}$ は次数 n での truncation を表す); $\nu_{Y,r}^{n-1}$ は $\mathrm{Ker}(\partial_2)$ を Y に制限して得られる Y 上のエタール層 (Y がスムーズなら $\nu_{Y,r}^{n-1} = W_r \Omega_{Y,\log}^{n-1}$, 一般の場合は [Sa] を参照); ∂_1' は列 (3.1) が複体になっていることから誘導される自然な射である.

補題 3 の証明. 次の localization distinguished triangle を計算する:

$$\mathcal{K} \longrightarrow Rj_* j^* \mathcal{K} \xrightarrow{\delta^{\mathrm{loc}}} R\iota_* R\iota^! \mathcal{K}[1] \longrightarrow \mathcal{K}[1]. \tag{3.3}$$

同型 $t: j^*\mathcal{K} \simeq j^* \mu_{p^r}^{\otimes n}$ と同型 $\tau_{\leq n}(Ri_* Ri^! \mathcal{K}[1]) \simeq \iota_* \nu_{Y,r}^{n-1}[-n]$ (**T3, T4** による) に注意する. さらに, (3.3) の 2 番目の射が誘導するコホモロジー層の写像 $R^n j_* \mu_{p^r}^{\otimes n} \to \iota_* \nu_{Y,r}^{n-1}$ がガロアコホモロジーの境界写像と (符号を除いて) 可換である (**T4**) ので, 列 (3.1) は複体でなければならず, 従って射 ∂_1' が得られる. 最後に **T2** を使って(3.3) に $\tau_{\leq n}$ を施し, 適当にシフトすると, (3.2) が得られる. (3.1) の完全性も **T2** から従う. □

補題 3 によって, 定理 2 を証明するには次の 3 点を示せばよい:

(1) エタール層の列 (3.1) が完全である.

(2) (3.2) に当て嵌まるような対 $(\mathcal{K}, t)$ は一意な同型を除いて一意に存在する.

(3) (3.2) に当て嵌まるような対 $(\mathcal{K}, t)$ は **T2, T3, T4** を満たす.

(3.1) が複体になることは加藤和也氏による ([KCT], Proposition 1.7). (3.1) が完全列になることは標数 p のスムーズな多様体 Z に対する $W_r\Omega^*_{Z,\log}$ の Gersten 分解 ([GrS]) を使って確かめられる. (2) は導来圏における初等的な射の計算によって得られる. (3) (特に, **T3**, **T4** の部分) の証明はここでは述べないが, p 進隣接輪体の層の構造定理 ([BK], [Hy]) と, 層 $\nu^{n-1}_{Y,r}$ の purity ([Gr], [Sa]) が非常に重要な役割を果たすことだけ述べておく. (注意 1 で述べた条件 **T4** の図式は, 写像 Gys 達の非常に自然な定義の下で常に反可換になる.) □

定義 4. $n \geq 0$, $r > 0$ に対し, 定理 2 の対 $(\mathcal{K}, t)$ を一つ固定し, $\mathfrak{T}_r(n)_X := \mathcal{K}$ ($\in D^b(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$) と定義する.

絶対 purity ([Fu], [Th]) と定理 2 の帰結として次の系が得られる:

系 5. 各 $n \geq 0$ に対し, 標準的なサイクル写像

$$\mathrm{cl}^n_X : \mathrm{CH}^n(X) \longrightarrow \mathrm{H}^{2n}_{\text{ét}}(X, \mathfrak{T}_{\mathbb{Z}_p}(n)_X) \ \bigl(:= \varprojlim_{r \geq 1} \mathrm{H}^{2n}_{\text{ét}}(X, \mathfrak{T}_r(n)_X) \bigr)$$

が存在する.

注意 6. X が $\mathrm{Spec}(A)$ 上固有 (proper) かつ「$p \geq 3$ 又は $\sqrt{-1} \in A$」である場合には, サイクル写像 cl^d_X と算術的双対性 ([SaH]) による同型写像

$$\mathrm{H}^{2d}_{\text{ét}}(X, \mathfrak{T}_{\mathbb{Z}_p}(d)) \simeq \pi_1^{\mathrm{ab}}(X)^{\text{pro-}p} \qquad (d := \dim(X))$$

によって序文の相互写像 ρ (の pro-p 部分) が復元される.

注意 7. Y がスムーズな場合, $\mathfrak{T}_r(n)$ は Schneider ([Sch], §7) が定義した複体 $S_r(n)$ の $D^b(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$ での像と標準同型である.

2. 他の係数との比較

記号と設定については前節と同じとする. 以下では $\mathfrak{T}_r(n)_X$ と他のエタール係数との比較について, いくつか述べておきたい.

注意 8. A は p 進整数環であるとする.

(1) Y がスムーズな場合, $0 \leq n \leq p-2$ では $\iota^*\mathfrak{T}_r(n)_X$ は Fontaine-Messing が定義したサントミック複体 $\mathcal{S}_r(n)$ に標準同型である (栗原将人氏の結果 [Ku] による).

(2) $1 \leq n \leq \dim(X)$ では $\iota^*\mathfrak{T}_r(n)_X$ は対数的サントミック複体 ([Ts] 参照) とは絶対に一致しない．なぜなら，後者の対象は辻雄氏の結果 [Ts] によって $\tau_{\leq n}\iota^* Rj_*\mu_{p^r}^{\otimes n}$ に同型であるからである (補題 3 (2) の (3.2) と比較せよ).

本稿の締めくくりとして，Bloch のサイクル複体のエタール層化 $\mathbb{Z}(n)_X^{\text{ét}}$ 及び Zariski 層化 $\mathbb{Z}(n)_X^{\text{Zar}}$ ([B], [Le1]) との比較について期待されることを述べたい. Levine の研究 ([Le1], [Le2]) によって，これらの 2 つの対象がそれぞれ Beilinson-Lichtenbaum のモチーフ複体 $\Gamma(n)_X^{\text{ét}}$ と $\Gamma(n)_X^{\text{Zar}}$ の有力な候補であることが分かっている．従って，定理 2 から次の事を予想することができる:

予想 9. (1) $D^b(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$ において次の標準同型がある:

$$\mathbb{Z}(n)_X^{\text{ét}} \otimes^{\mathbb{L}} \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z} \xrightarrow{\simeq} \mathfrak{T}_r(n)_X$$

(2) エタール位相から Zariski 位相への連続写像 $X_{\text{ét}} \to X_{\text{Zar}}$ を ε とする．このとき，(1) の標準射は $D^b(X_{\text{Zar}}, \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z})$ において次の同型を引き起こす:

$$\mathbb{Z}(n)_X^{\text{Zar}} \otimes^{\mathbb{L}} \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z} \xrightarrow{\simeq} \tau_{\leq n} R\varepsilon_* \mathfrak{T}_r(n)_X$$

この予想は $n = 0$ の場合，自明である．$n = 1$ の場合も $\mathbb{G}_{\text{m}}$ の Kummer 理論 ([SaH]), Hilbert の定理 90 ($R^1\varepsilon_*\mathbb{G}_{\text{m}} = 0$) と次の 2 つの同型から従う:

$$\mathbb{Z}(1)_X^{\text{ét}} \simeq \mathbb{G}_{\text{m}}[-1]$$
$$\mathbb{Z}(1)_X^{\text{Zar}} \simeq \varepsilon_*\mathbb{G}_{\text{m}}[-1]$$

([Le2], Lemma 11.2 参照)．しかし，$n \geq 2$ の場合には未知の部分が多い．Geisser の最近の結果によると，予想 9 (1) は「X が Spec(A) 上スムーズである」という条件と「Bloch-Kato 予想 ([BK], §5) が成り立つ」という仮定の下で正しい ([Ge], Theorems 1.2 (4), 1.3)．彼の議論の重要なステップは「$\mathbb{Z}(n)_X^{\text{ét}} \otimes^{\mathbb{L}} \mathbb{Z}/p^r\mathbb{Z}$ のコホモロジー層が次数 $\geq n+1$ において全て 0 である」ことを示すところにある.

References

[Be] Beilinson, A. A.: Height pairings between algebraic cycles. In: Manin, Yu. I. (ed.) *K-theory, Arithmetic and Geometry*, (Lecture Notes in Math. 1289), pp. 1–27, Berlin, Springer, 1987

[B] Bloch, S.: Algebraic cycles and higher K-theory. Adv. Math. **61**, 267–304 (1986)

[BK] Bloch, S., Kato, K.: p-adic étale cohomology. Inst. Hautes Études Sci. Publ. Math. **63**, 107–152 (1986)

[FM] Fontaine, J.-M., Messing, W.: p-adic periods and p-adic étale cohomology. In: Ribet, K. A. (ed.) *Current Trends in Arithmetical Algebraic Geometry*, (Contemp. Math. 67), pp. 179–207, Providence, Amer. Math. Soc., 1987

[Fu] Fujiwara, K.: A proof of the absolute purity conjecture (after Gabber). In: Usui, S., Green, M., Illusie, L., Kato, K., Looijenga, E., Mukai, S., Saito, S. (eds.) *Algebraic Geometry 2000, Azumino*, (Adv. Stud. Pure Math. 36), pp. 153–183, Tokyo, Math. Soc. Japan, 2002

[Ge] Geisser, T.: Motivic cohomology over Dedekind rings. preprint, 2001

[Gr] Gros, M.: Classes de Chern et classes des cycles en cohomologie logarithmique. Bull. Soc. Math. France Mémoire N° 21, 1985

[GrS] Gros, M., Suwa, N.: La conjecture de Gersten pour les faisceaux de Hodge-Witt logarithmique. Duke Math. J. **57**, 615-628 (1988)

[Hy] Hyodo, O.: A note on p-adic etale cohomology in the semi-stable reduction case. Invent. Math. **91**, 543–557 (1988)

[Il] Illusie, L.: Complexe de de Rham-Witt et cohomologie cristalline. Ann. Sci. École Norm. Sup. (4) **12**, 501–661 (1979)

[KCT] Kato, K.: A Hasse principle for two-dimensional global fields. (with an appendix by Colliot-Thélène, J.-L.), J. Reine Angew. Math. **366**, 142–183 (1986)

[KS] Kato, K., Saito, S.: Unramified class field theory of arithmetic surfaces. Ann. of Math. **118**, 241–275 (1983)

[Ku] Kurihara, M.: A note on p-adic étale cohomology. Proc. Japan Acad. Ser. A **63**, 275–278 (1987)

[Le1] Levine, M.: Techniques of localization in the theory of algebraic cycles. J. Algebraic Geom. **10**, 299-363 (2001)

[Le2] Levine, M.: K-theory and motivic cohomology of schemes. preprint, 1999

[L] Lichtenbaum, S.: Values of zeta functions at non-negative integers. In: Jager, H. (ed.) *Number Theory, Noordwijkerhout 1983*, (Lecture Notes in Math. 1068), pp. 127-138, Berlin, Springer, 1984

[S] Saito, S.: Unramified class field theory of arithmetical schemes. Ann. of Math. **1985**, 251–281 (1985)

[SSa] Saito, S., Sato, K.: Cycle class maps for arithmetic schemes. preprint 2005

[Sa] Sato, K.: Logarithmic Hodge-Witt sheaves on normal crossing varieties. preprint, 2004, available at `http://www.math.uiuc.edu/K-theory/`, n° 683

[SaH] Sato, K.: p-adic étale Tate twists and arithmetic duality (with an appendix by Hagihara, K.), preprint 2004

[Sch] Schneider, P.: p-adic point of motives. In: Jannsen, U. (ed.) *Motives*, (Proc. Sympos. Pure Math. 55, Part 2), pp. 225–249, Providence, Amer. Math. Soc., 1994

[Th] Thomason, R. W.: Absolute cohomological purity. Bull. Soc. Math. France **112**, 397–406 (1984)

[Ts] Tsuji, T.: On p-adic nearby cycles of log smooth families. Bull. Soc. Math. France **128**, 529–575 (2000)

〒464-8602 名古屋市千種区不老町
名古屋大学大学院多元数理科学研究科
E-mail address: `kanetomo@math.nagoya-u.ac.jp`